

知识产权出版社出版

权 利 要 求 书

1. 一种 InAlGaN 光发射器件, 包括:
主衬底 (12);
5 AlInGaN 光发射结构 (20), 包括接近主衬底顶面的、第一和第二极性的器件层;
与 AlInGaN 光发射结构的顶面的第一器件接触 (18);
晶片键合层 (16), 置于主衬底和 AlInGaN 结构之间; 和
第二器件接触 (22), 位于晶片键合层之内, 与 AlInGaN 光发射结
10 构的底面电连接.
2. 权利要求 1 的器件, 其中第二器件接触 (22) 包含至少 50% 的银.
3. 权利要求 1 的器件, 其中第二器件接触 (22) 包含至少 50% 的铝.
- 15 4. 权利要求 1 的器件, 其中主衬底 (12) 由包括金属和半导体的材料组中选择.
5. 权利要求 4 的器件, 其中主衬底 (12) 由包括银、锗、玻璃、铜和砷化镓的材料组中选择.
6. 权利要求 4 的器件, 其中主衬底 (12) 是半导体, 它还包括位
20 于主衬底的顶面上的第一衬底欧姆接触 (24A).
7. 权利要求 6 的器件, 还包括与主衬底的底面电连接的第二衬底欧姆接触 (24B).
8. 权利要求 1 的器件, 还包括一对位于构成边发射激光器的 InAlGaN 光发射结构的两个相对面上的抛光反射镜.
- 25 9. 权利要求 1 的器件, 还包括:
第一介质布拉格反射器反射镜 (26A), 位于 InAlGaN 光发射结构的顶面; 和
第二介质布拉格反射器反射镜 (26B), 位于晶片键合层内部, 靠近 InAlGaN 光发射结构的底面.
- 30 10. 制备垂直导电 AlInGaN 光发射器件的方法, 包括步骤:
在生长衬底上生长具有第一和第二极性的器件层的 AlInGaN 光发射结构;

在 InAlGa_N 光发射结构的外露面上淀积第一欧姆金属层;
在主衬底上淀积第二欧姆金属层; 和
晶片键合第一和第二欧姆金属层, 以便在晶片键合界面内形成第一电接触。

5 11. 权利要求 10 的方法, 其中第一欧姆金属层是由包括银、镍、铝、金和钴的材料组中选取的。

12. 权利要求 10 的方法, 还包括步骤:

去除生长衬底; 和

在 InAlGa_N 光发射结构的新暴露出来的面上制备第二电接触。

10 13. 权利要求 12 的方法, 还包括透过 AlInGa_N 光发射结构刻蚀出与所需器件尺寸相对应的台面的步骤。

14. 权利要求 13 的方法, 还包括分离主衬底的步骤。

15. 权利要求 10 的方法, 其中生长 InAlGa_N 光发射结构的步骤包括在生长衬底上生长厚度大于 50 微米的 AlInGa_N 薄膜的步骤。

15 16. 权利要求 10 的方法, 其中主衬底由包括金属和半导体的材料组中选择。

说明书

通过去除衬底来制备铟铝镓氮光发射器

5 本发明一般地涉及半导体光发射器件领域，特别是涉及一种制备高效、廉价的 InAlGa_N 器件的方法。

已经证明，因为其在外延生长工艺的高温氨气氛中具有稳定性，蓝宝石是生长高效 InAlGa_N 光发射器件的优选衬底。然而，蓝宝石是导热性很差的电绝缘体，使器件的设计不同寻常，而且效率很低。生长在蓝宝石上的典型 LED 结构具有两个顶层电接触和一个在 p 接触上扩展电流的半透明金属层。这与标准垂直结构不同，在标准结构中电
10 流是在导电衬底上生长的 LED 中流动，例如在 GaAs 或 GaP 中，一个电接触位于半导体器件的顶面，另一个位于底面。在基于蓝宝石的 LED 上的两个顶层接触减少了器件的可用发光面积。

此外，p 型 InAlGa_N 层的低导电率致使需要半透明金属层，以便
15 在 p 型半导体层上扩展电流。蓝宝石的折射率 ($n \sim 1.7$) 也低于在其上生长的 InAlGa_N 层 ($n \sim 2.2-2.6$)。因此，折射率的失配 (蓝宝石的较低) 在起吸收作用的半透明 p 面电流扩展金属和蓝宝石之间形成光波导。这使得半透明金属层对商用 InAlGa_N 器件产生的光线吸收 10-70%。

20 晶片键合分为两个基本类型：直接晶片键合和金属晶片键合。在直接晶片键合中，两个晶片通过键合界面上的物质交换键合在一起。直接晶片键合可以在半导体、氧化物和绝缘材料的任意组合之间进行。键合通常是在高温 ($>400^{\circ}\text{C}$) 和单向压力下进行的。Kish 等人在美国专利 5,502,316 中描述了一种合适的直接晶片键合技术。在金属
25 晶片键合中，金属层淀积在两个键合衬底之间使之粘结。该金属层可用作与有源器件、衬底或两者的欧姆接触。金属键合的一个例子是倒装键合，这是一种在微电子和光电子工业中用来将器件倒装在衬底上的技术。因为倒装键合改善了器件的散热性能，衬底的去除取决于器件的结构，传统上对金属键合层的唯一要求是导电和机械牢固。

30 垂直腔光电结构包括有源区，它由置于掺杂、未掺杂或包含 p-n 结的限制层之间的光发射层构成。该结构还至少包含一个在垂直于光发射层的方向上形成 F-P 腔的反射镜。在 GaN / In_xAl_yGa₂N / Al_xGa_{1-x}N

(其中 $x+y+z=0.5$) 材料系中制备垂直腔光电结构提出了与其它 III-V 族材料系不同的挑战。困难的是生长出具有高光学品质的 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 结构。电流扩展是 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 器件的主要问题。电流在 p 型材料中的横向扩展比 n 型材料小 30 倍。此外, 衬底的低热导率增加了器件设计的复杂性, 这是因为为了获得最佳的散热, 器件应当 p 面向下安装。

一种垂直腔光电结构, 例如垂直腔面发射激光器 (VCSEL), 需要高质量的反射镜, 例如 99.5% 的反射率。获得高质量反射镜的一种方法是利用半导体生长技术。为了达到适用于 VCSEL 的分布式布拉格反射器 (DBRs) 所需的高反射率 ($>99\%$), 对于半导体 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ DBR 的生长存在一些非常关键的材料问题, 包括裂纹和掺杂剂的融合。这些反射镜需要多个组份交替改变的铟铝镓氮化物 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}/\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$) 的周期/层面。与半导体 DBR 相比, 介质 DBR (D-DBR) 在 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 材料系所覆盖的光谱范围内相对容易实现超过 99% 的反射率。这些反射镜通常是通过蒸发或溅射技术淀积的, 但也可以使用 MBE (分子束外延) 和 MOCVD (金属有机物化学气相淀积)。然而, 除非去除主衬底, 否则有源区只有一面能够接触 D-DBR 淀积层。如果可以将 D-DBR 键合和/或淀积在 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 有源区的两面上, 那么制备 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 垂直腔光电结构将变得很容易。

在 “Low threshold, wafer fused long wavelength vertical cavity lasers” 中, Applied Physics Letters, 64 卷, 1994 年 12 期, 1463-1465 页, Dudley 等人讲述了将 AlAs/GaAs 半导体 DBR 直接晶片键合到垂直腔结构的一面, 而在 “Room-Temperature Continuous-Wave Operation of $1.430\ \mu\text{m}$ Vertical-Cavity Lasers” 中, IEEE Photonics Technology Letters, 1995 年 11 月 7 卷、11 卷, Babic 等人讲述了将半导体 DBR 直接晶片键合到 InAlGaN VCSEL 的两面, 以利用在 AlAs/GaAs 之间的大折射率变化。如将要描述的, 将 D-DBR 晶片键合到 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 比半导体之间的晶片键合更复杂, 在现有技术中还没有出现过。

在 “Dielectrically-Banded Long Wavelength Vertical Cavity Laser on GaAs Substrates Using Strain-Compensated Multiple Quantum Wells”, IEEE Photonics Technology Letters, vol. 5, no. 12 1994 年 11 月, Chua 等人发表了利用旋涂 (spin-on) 玻璃层将

AlAs/GaAs 半导体 DBR 连接到 InGaAsP 激光器的报道。旋涂玻璃并不适合于在 VCSEL 中的有源层和 DBR 之间进行键合，因为很难精确地控制旋涂玻璃的厚度，因此，将无法精确地进行 VCSEL 腔所需的层控制。此外，旋涂玻璃的性质是非均匀的，这将导致腔散射和其它损耗。

5 利用 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 材料对生长具有适合于 VCSEL 的反射率，例如大于 99% 的半导体 DBR 反射镜是困难的。反射率的理论计算表明，为了实现高反射率，需要高折射率对比，这只有通过提高低折射率 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层中的 Al 组份和/或包含更多的层周期（材料特性来自于 Ambacher 等人，MRS Internet Journal of Nitride Semiconductor
10 research, 2(22) 1997）来实现。这两种方法均具有极强的挑战性。如果电流流过 DBR 层，那么 DBR 具有导电性是很重要的。为了充分地导电， $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 层必需是充分掺杂的。除非 Al 组份对于 Si (n 型) 掺杂降低到 50%，对于 Mg (p 型) 掺杂降低到 17%，否则掺杂剂不会充分地融合。然而，利用 Al 组份较低的层来实现足够高的反射率所需的
15 层周期数需要总厚度较大的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 材料，这加大了外延层破裂的危险性，降低了组份控制力。实际上，图 1 所示的 $\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}/\text{GaN}$ 叠层已经有 $2.5\mu\text{m}$ 厚，但远远不能满足 VCSEL 所需的反射率。这样，基于这种层对的高反射率 DBR 需要的总厚度远大于 $2.5\mu\text{m}$ ，并且对于给定的 AlN 和 GaN 生长温度差，难以可靠地生长。尽管在层是未掺杂的条件下破裂不是一个主要问题，但是组份控制和 AlN/GaN 的生长温度仍
20 将是生长高反射率 DBR 的巨大挑战。因此，即使在不需要 DBR 导电的应用中，也还没有出现利用 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ 材料系制备的反射率大于 99% 的反射镜叠层。因此，介质 DBR 反射镜是优选的。

半导体器件在晶片上同时成千上万地制备。晶片在封装之前必需
25 切割成独立的小片。如果利用蓝宝石作为生长衬底，那么必需减薄和切割蓝宝石衬底。蓝宝石的硬度和六方晶体结构使得切割操作既困难又昂贵。

在本发明中，描述了制备 InAlGaN 光发射器件的设备和技术，其方法是由蓝宝石生长衬底去除光发射层。在数个实施方案中，描述了
30 制备垂直 InAlGaN 光发射二极管结构的技术，这种结构可以提高性能和/或降低成本。此外，还利用了金属键合、衬底剥离、和新颖的 RIE 器件隔离技术，以高效地在根据其导热率和易于制备来选择的衬底上

制备垂直 GaN LED 或垂直腔面发射激光器 (VCSEL)。

图 1 示出 InAlGa_N 光发射器件的优选实施方案，其键合层包括与 InAlGa_N 异质结的欧姆接触层和与主衬底的粘结层。

5 图 2 示出 InAlGa_N 光发射器件的优选实施方案，其键合层包括与 InAlGa_N 异质结的欧姆接触层和与导电主衬底的欧姆接触层。

图 3 示出 InAlGa_N 光发射器件的优选实施方案，其相对分布式布拉格反射器 (DBR) 反射镜叠在光发射层的两个面上，形成垂直腔器件。键合层包括与 InAlGa_N 异质结的欧姆接触层和与导电主衬底的欧姆接触层。

10 图 4A-D 示出切割 InAlGa_N 光发射器件的优选实施方案。在图 4A 中，将生长在蓝宝石衬底上的 InAlGa_N 层覆以欧姆接触层和键合层。在图 4B 中，主衬底在去除蓝宝石衬底之前与 InAlGa_N 层键合。在图 4C 中，通过对 InAlGa_N 器件进行台面刻蚀界定 InAlGa_N 器件。在图 4D 中，最后通过切割主衬底将器件分离。

15 本发明考虑制备垂直导电 InAlGa_N 光发射器件，其中与 InAlGa_N 器件层的欧姆接触位于 InAlGa_N 器件层的相对面上，即顶面和底面。

20 图 1 示出了本发明的一个优选结构。开始，InAlGa_N 光发射器件 20 生长在牺牲生长衬底 30 上，例如蓝宝石。生长的结构具有外露的 p 型层 20a。反射欧姆接触 18 淀积在 p 型 InAlGa_N 层 20a 的顶面。然后，利用置于 InAlGa_N 光发射层 20 和主衬底 12 之间的键合层 16 将 InAlGa_N 结构键合到主衬底 12。键合层 16 的材料应当能够提供较强的机械键合，并且导电。通常，键合层包括多个层，淀积在 InAlGa_N 器件层上的第一键合层 16a 和淀积在主衬底上的第二键合层 16b。键合层 16 是利用现有技术中已知的任何方法淀积的，例如电子束蒸发、溅射和电子镀。键合之后，利用本领域众知的衬底去除技术中的一种除去牺牲蓝宝石生长衬底 30，例如对牺牲层进行激光熔化、机械抛光和化学刻蚀。然后，对 InAlGa_N 层进行图形化、刻蚀和连接，以制备电注入光发射器件。键合层用作低阻抗电流扩展层、与 p-InAlGa_N 层的欧姆接触层和与主衬底的粘结层。

30 图 2 示出了另一个优选实施方案。类似于图 1，InAlGa_N 光发射器件层生长在要去除的衬底 30 上，反射欧姆接触 18 淀积在外露的 p 型层 20a 上。现在，InAlGa_N 结构 20+18 通过键合层 16 与导电主衬底

12 键合。该衬底可以是半导体、绝缘体或金属。在半导体衬底情况下，键合层必需靠近衬底 24a 或包括与衬底 24a 的欧姆接触层，第二欧姆接触施加在与键合界面 24b 相对的衬底面上。在与主衬底粘结之后，去除牺牲生长衬底，n 型欧姆接触 22 提供给 n-InAlGaN 层。结果，完成了垂直导电 InAlGaN 光发射器件。该器件由于半导体或金属主衬底的低电阻率而具有优异的电流扩展性，使得正向电压很低和电光转换效率很高。此外，因为器件顶面只有一个欧姆接触，在制备器件的第二个欧姆接触的过程中没有去除器件的任何有源区，所以与商用器件的 40% 相比，高于 75% 的可用有源区保留下来，用于光发射。

图 3 示出了另一个优选实施方案。在这种情况下，DBR 反射镜叠层 26a 以及 p 面欧姆接触 18 淀积在 p-InAlGaN 层 20a 上。反射镜叠层包括一种或多种下述材料：绝缘体、半导体和金属。结构通过向主衬底 12 提供粘结和向 p 面欧姆接触金属 18 提供电接触的键合层 16 与主衬底 12 键合。键合层 16 的材料和厚度在粘结主衬底的过程中不应损害 DBR 反射镜叠层的反射率。在除去牺牲生长衬底 30 之后，第二 DBR 反射镜叠层 26b 淀积在 InAlGaN 垂直腔光电结构的与第一反射镜叠层 26a 相对的面上。任选的第二反射镜叠层 26b 经图形化、刻蚀，为 n 型欧姆接触 22 提供面积。对于垂直腔面发射激光器，反射镜必需具有非常高的反射率，大于 99%。对于谐振腔 LED，可以放宽对反射镜的反射率的要求（大于 60%）。第一和第二衬底欧姆接触 24a、24b 形成了垂直导电器件。

图 4 示出了制备 InAlGaN 光发射器件的优选方法。图 4a 示出生长在生长衬底 30 之上、且在 p 型 InAlGaN 层的顶面上淀积有反射欧姆银接触 18 的 InAlGaN 光发射层 20a 和 20b。银是优选的 p 型欧姆接触，因为它对 InAlGaN 光发射器件发射出的典型光波长具有很高的反射率，并且与 p 型 InAlGaN 的接触阻抗很低。另外，对于利用非蓝宝石生长衬底的 n 型层生长的 InAlGaN 层，铝是一种较好的欧姆金属，因为它不仅在 InAlGaN 器件发射的典型可见光波长范围内具有高反射率，而且还能与 n 型 InAlGaN 形成极好的欧姆接触。上面的器件结构示出了一个具有第一 24a 和第二 24b 欧姆接触以便于垂直导电的低阻抗主衬底 12。键合层 16a 可以淀积在第一衬底欧姆接触的顶面。第二键合层 16 可以任选地淀积在 p 面欧姆接触 18 的顶面，以便于后续步

5 骤中的机械加强金属晶片键合。在图 4b 中，主衬底是通过键合层与 InAlGaN 层键合的晶片。在图 4c 中，已经去除了生长衬底 30，并提供了与 n-InAlGaN 层的欧姆接触 22。然后，透过 InAlGaN 层刻蚀出台面 32，以界定各个器件的有源区。在图 4d 中，主衬底已经被切割成独立的 InAlGaN 光发射器件。对于主衬底，硅是优选的，因为它很容易减薄和切成非常小的芯片，而且与其它常用衬底相比，具有较低的电阻率和较高的热导率。这种方法允许简单地切割 InAlGaN 器件，避免切割蓝宝石带来的问题。还有可能在粘结到主衬底之前刻蚀台面，而不是在去除生长衬底之后。

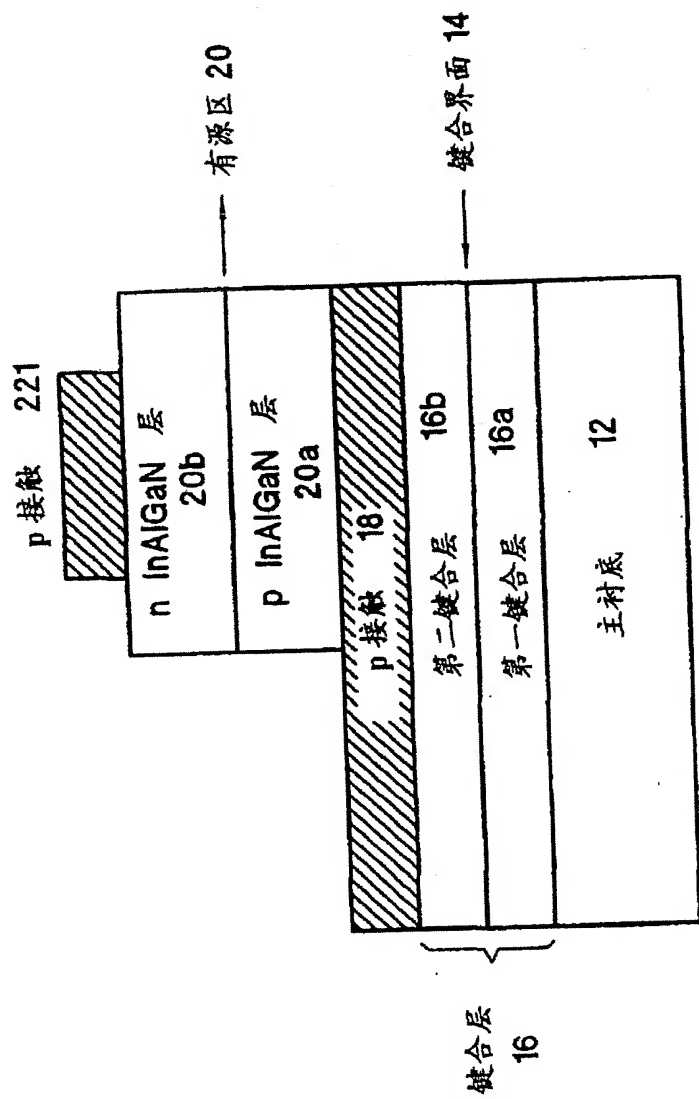


图 1

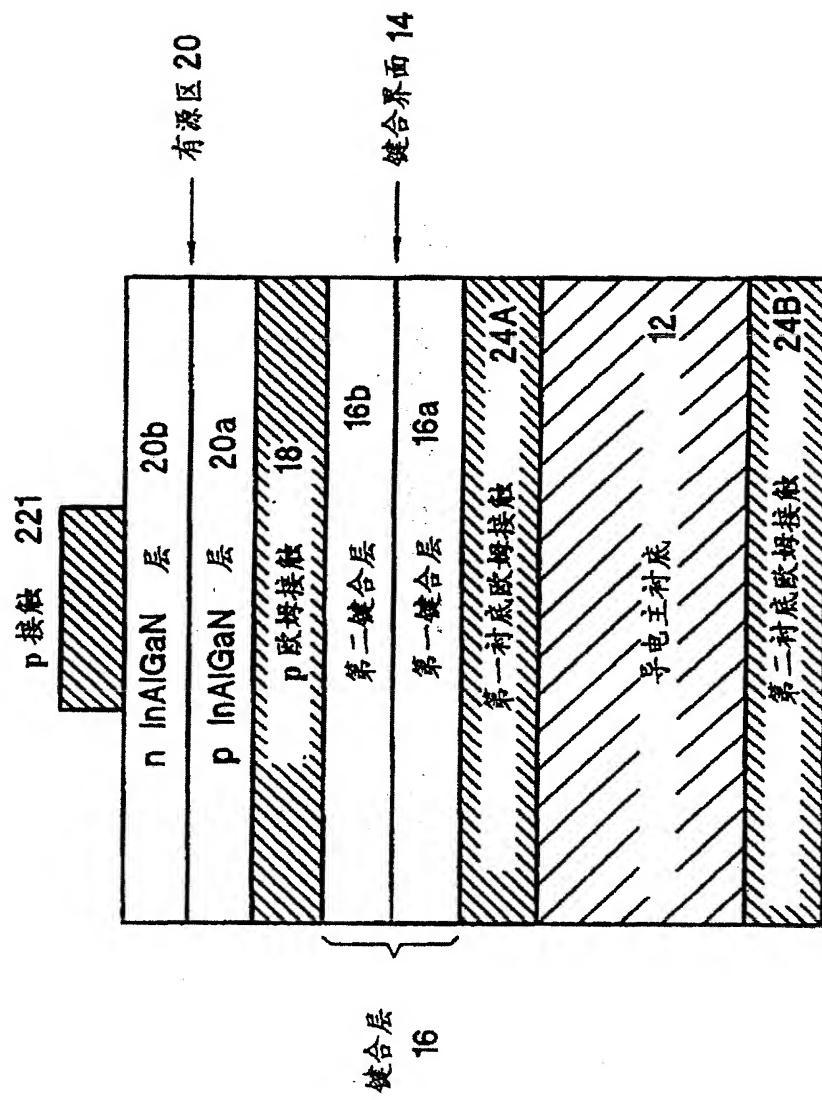


图 2

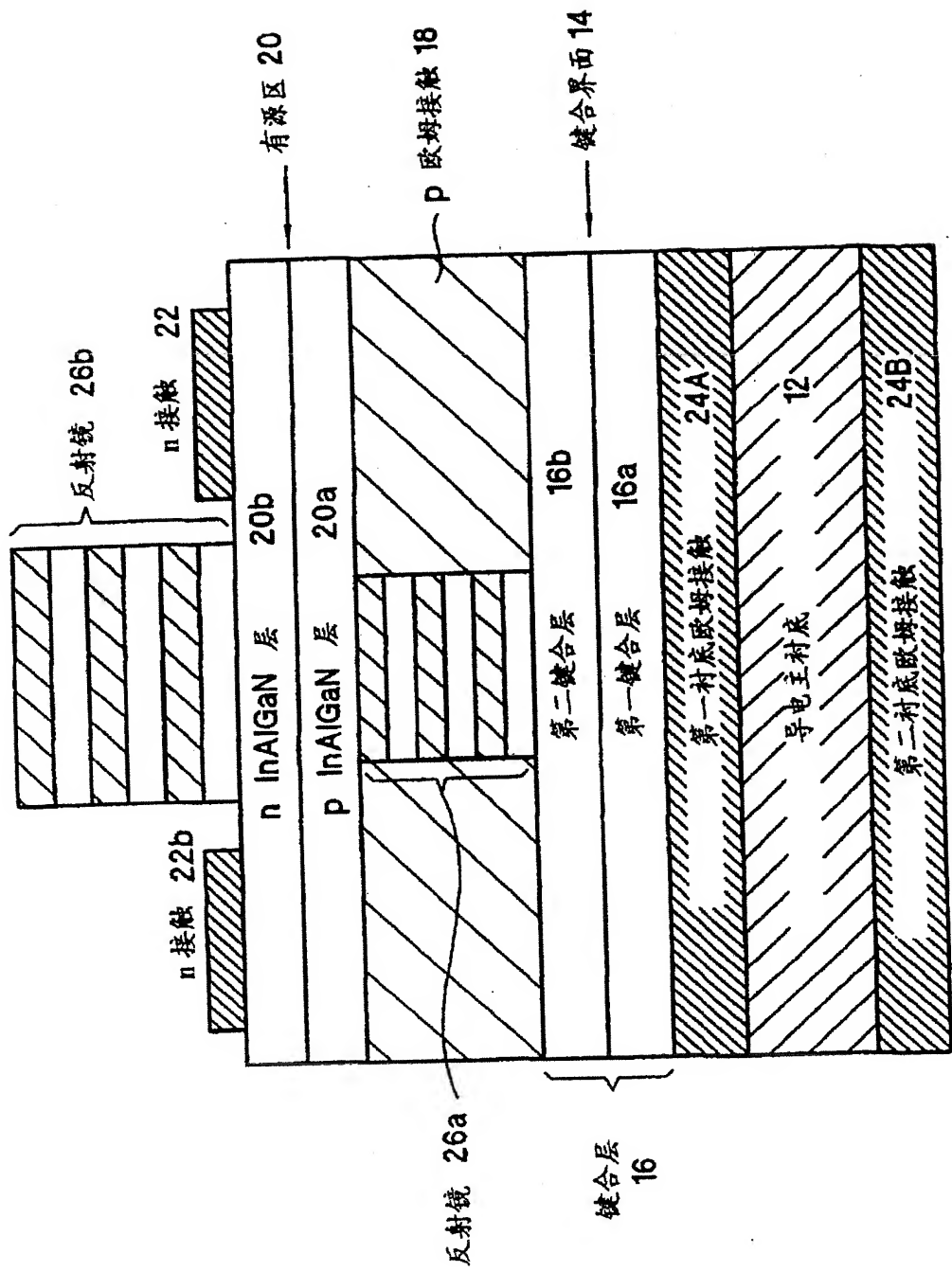


图 3

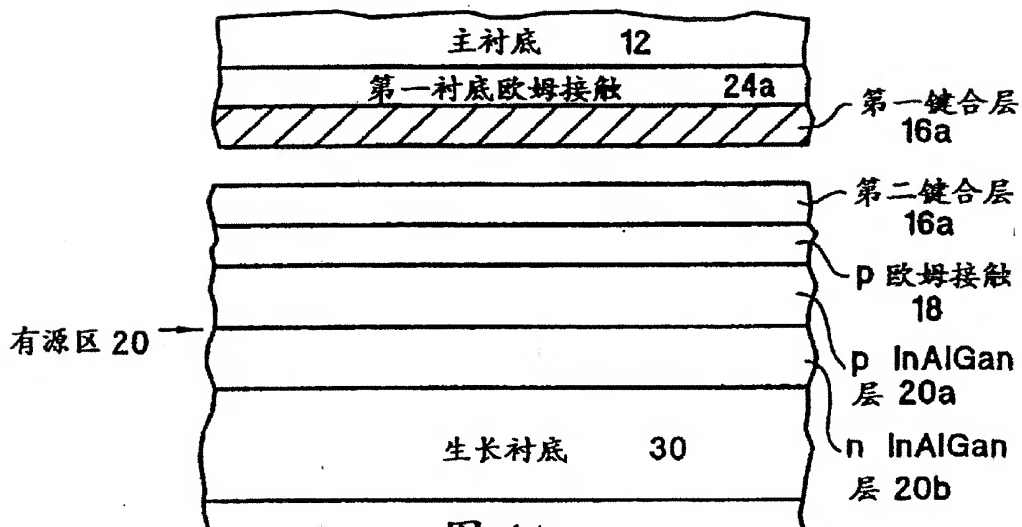


图 4A

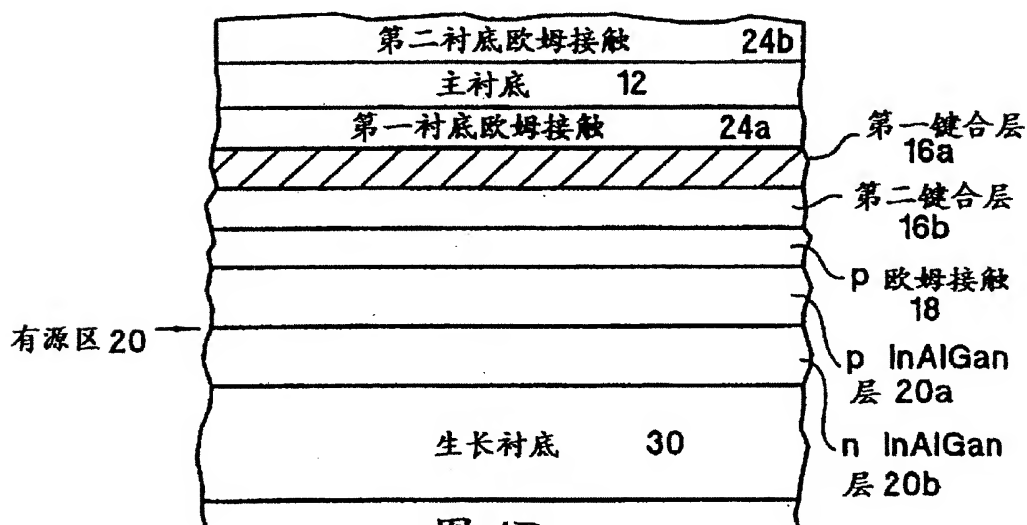


图 4B

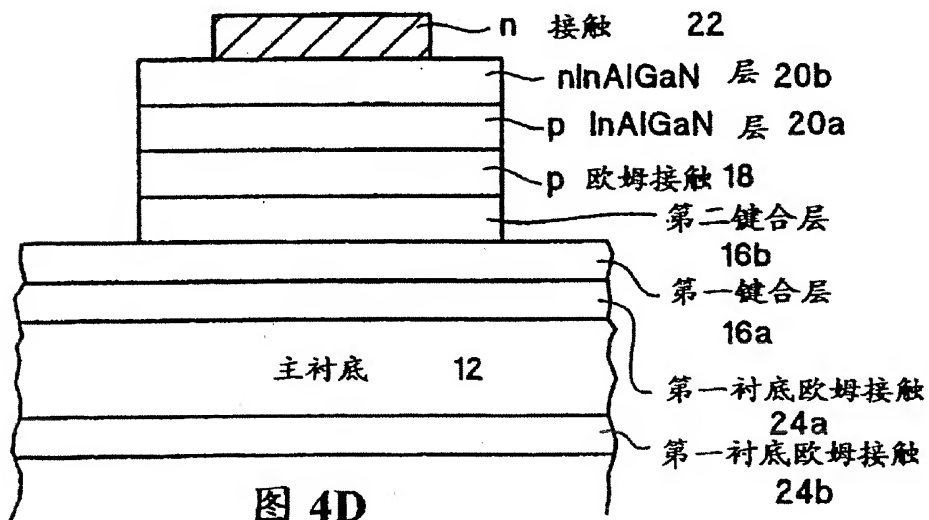


图 4D

